

(10)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-38453

(43)公開日 平成8年(1996)2月13日

(51) Int.Cl.^b

A 61 B 5/055

G 01 R 33/3875

H 01 F 7/20

識別記号

序内整理番号

FI

技術表示箇所

C

7638-2 J

A 61 B 5/05

3 3 1

G 01 N 24/06

5 2 0 J

審査請求 未請求 請求項の数10 OL (全 7 頁)

(21)出願番号

特願平7-68457

(22)出願日

平成7年(1995)3月28日

(31)優先権主張番号

2 2 3 2 0 0

(32)優先日

1994年4月5日

(33)優先権主張国

米国 (U.S.)

(71)出願人

ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
GENERAL ELECTRIC COMPANY

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、リバーロード、1番

(72)発明者

エバンゲロス・トリフォン・ラスカリス

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ

クタディ、クリムザン・オーク・コート、

15番

(72)発明者

ピザン・ドリー

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフ

トン・パーク、バットナム・レーン、7番

(74)代理人

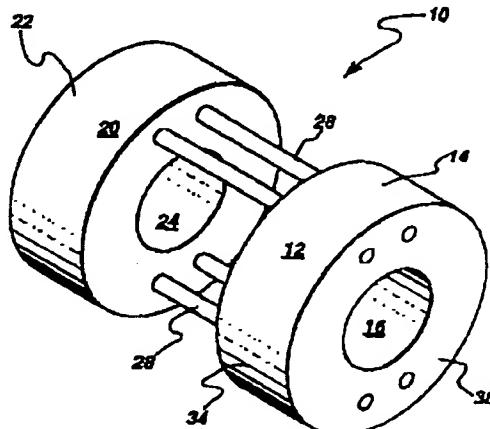
弁理士 生宿 徳二

(54)【発明の名称】開放形磁気共鳴イメージング磁石

(57)【要約】

【目的】 磁界が非常に一様な開放形磁気共鳴イメージング磁石を提供する。

【構成】 離間して配置された第1および第2の超伝導コイル組立体(12, 20)を有し、各組立体は、超伝導主コイル(40, 46)および超伝導バッキングコイル(44, 50)を収容したドーナツ形のコイルハウジング(14, 22)を含む。バッキングコイルは、主コイルの半径方向内側に且つ主コイルから半径方向に離間して配置され、主コイルと等しいアンペア数の電流を主コイルと逆の方向に通す。バッキングコイルは(磁石の超伝導コイル組立体相互の間の開放空間によって形成される)主コイルのイメージング容積(64)内の大きな磁界歪を解消して、イメージング容積内に非常に一様な磁界を作る。



(2)

特開平 8- 38453

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 開放形磁気共鳴イメージング磁石に於いて、

(a) 第1の超伝導コイル組立体であって、(1) 第1の内腔を取り囲み ほぼ縦方向の第1の軸を持つほぼドーナツ形の第1のコイルハウジング、(2) 上記第1の軸とほぼ同軸にそろえられて、上記第1のコイルハウジングの中に配置され、第1の方向に第1の主電流を通すほぼ環状の第1の超伝導主コイル、および(3) 上記第1の軸とほぼ同軸にそろえられて、上記第1の主コイルから半径方向内側に離間して上記第1のコイルハウジングの中に配置され、上記第1の方向とは逆の方向に第1のパッキング電流を通すほぼ環状の第1の超伝導パッキングコイルを含む第1の超伝導コイル組立体 ならびに
(b) 第2の超伝導コイル組立体であって、(1) 上記第1のコイルハウジングから縦方向に離間して配置されていて、第2の内腔を取り囲み、上記第1の軸とほぼ同軸にそろえられたほぼ縦方向の第2の軸を持つほぼドーナツ形の第2のコイルハウジング、(2) 上記第2の軸とほぼ同軸にそろえられて、上記第2のコイルハウジングの中に配置され、上記第1の方向に第2の主電流を通すほぼ環状の第2の超伝導主コイル、および(3) 上記第2の軸とほぼ同軸にそろえられて、上記第2の主コイルから半径方向内側に離間して上記第2のコイルハウジングの中に配置され、上記逆方向に第2のパッキング電流を通すほぼ環状の第2の超伝導パッキングコイルを含む第2の超伝導コイル組立体を有することを特徴とする開放形磁気共鳴イメージング磁石。

【請求項2】 上記第1のコイルハウジングは、上記第1の軸の方を向いた第1のほぼ円周状の外側表面、および上記第1の円周状の外側表面から半径方向に離間し且つ上記第1の軸の方とは反対の外向きの第2のほぼ円周状の外側表面を持ち、上記第1の主コイルが半径方向において上記第2の円周状の外側表面の方に配置され、上記第1のパッキングコイルが半径方向において上記第1の円周状の外側表面の方に配置されている請求項1記載の開放形磁気共鳴イメージング磁石。

【請求項3】 上記第1のパッキングコイルが、上記第1の主コイルの半径方向の厚さの少なくとも2倍にはほぼ等しい距離だけ、上記第1の主コイルから半径方向に離間して配置されている請求項1記載の開放形磁気共鳴イメージング磁石。

【請求項4】 上記第1の主電流と上記第1のパッキング電流のアンペア数がほぼ等しい請求項1記載の開放形磁気共鳴イメージング磁石。

【請求項5】 上記第1の軸に対して垂直に伸び且つ縦方向において上記第1のコイルハウジングと上記第2のコイルハウジングとの間に位置する平面を中心として、上記第2の超伝導コイル組立体がほぼ上記第1の超伝導コイル組立体と鏡像関係にある請求項4記載の開放

形磁気共鳴イメージング磁石。

【請求項6】 上記第1のパッキングコイルが、上記第1の主コイルの半径方向の厚さの少なくとも2倍にはほぼ等しい距離だけ、上記第1の主コイルから半径方向に離間して配置され、上記第1の主コイルが上記第1のパッキングコイル全体と縦方向にオーバーラップしている請求項5記載の開放形磁気共鳴イメージング磁石。

【請求項7】 上記第1のコイルハウジングが、上記平面の方を向いた第1のほぼ環状の外側表面、上記第1の環状の外側表面から縦方向に離間し且つ上記平面の方とは反対の外向きの第2のほぼ環状の外側表面、上記第1の軸の方を向いた第1のほぼ円周状の外側表面、および上記第1の円周状の外側表面から半径方向に離間を置いて配置され、ほぼ上記第1の軸の方とは反対の外向きの第2のほぼ円周状の外側表面を持ち、上記第1の主コイルが縦方向において上記第1の環状の外側表面の方に配置され且つ半径方向において上記第2の円周状の外側表面の方に配置され、上記第1のパッキングコイルが縦方向において上記第1の環状の外側表面の方に配置され且つ半径方向において上記第1の円周状の外側表面の方に配置されている請求項6記載の開放形磁気共鳴イメージング磁石。

【請求項8】 上記平面から上記第1の主コイルまでの縦方向の距離が上記平面から上記第1のパッキングコイルまでの縦方向の距離にはほぼ等しい請求項7記載の開放形磁気共鳴イメージング磁石。

【請求項9】 上記第1の超伝導コイル組立体が更に、上記第1の軸とほぼ同軸にそろえられて、上記第1のコイルハウジングの中に配置され、上記第1の方向に電流を通すほぼ環状の第1の付加的な超伝導主コイルを含み、上記第1の付加的な主コイルは、縦方向において上記第2の環状の外側表面の方に配置されると共に上記第1の主コイルから縦方向に離間して配置され、且つ上記第1の主コイルよりも上記第1の軸からの小さい半径方向の距離の所で半径方向において上記第2の円周状の外側表面の方に配置されている請求項8記載の開放形磁気共鳴イメージング磁石。

【請求項10】 上記第1のコイルハウジングが上記平面から縦方向にほぼ11インチのところに配置された第40の真空エンクロージャであり、上記第1のコイルハウジングの内側半径がほぼ19インチ、外側半径がほぼ96.5インチ、縦方向の厚さがほぼ18インチであり、上記第1の主コイルは縦方向にはほぼ6インチ伸び且つ半径方向にはほぼ1.5インチ伸びて、縦方向に上記平面からほぼ12.6インチのところに配置され且つ半径方向に上記第1の軸からほぼ32.5インチのところに配置され、上記第1の主コイルは、温度がほぼ10ケルビンで、幅がほぼ0.12インチ、厚さがほぼ0.01インチのほぼ83000フィートのNb-Sn超伝導テープから成っていて、上記第1の主電流のアンペア数がほぼ

(3)

特開平 8- 38453

3

4

6.5アンペアであり、

上記第1のパッキングコイルは縦方向にほぼ2インチ伸び且つ半径方向にほぼ1インチ伸びて、縦方向に上記平面からほぼ1.3インチのところに配置され且つ半径方向に上記第1の軸からほぼ2.1インチのところに配置され、上記第1のパッキングコイルは、温度がほぼ10ケルビンで、幅がほぼ0.12インチ、厚さがほぼ0.01インチのほぼ11000フィートのNb-Sn超伝導テープから成っていて、上記第1のパッキング電流のアンペア数がほぼ6.5アンペアであり、そして上記第1の付加的な主コイルは縦方向にほぼ7インチ伸び且つ半径方向にほぼ1.2インチ伸びて、縦方向に上記平面からほぼ1.9.2インチのところに配置され且つ半径方向に上記第1の軸からほぼ3.1.8インチのところに配置され、上記第1の付加的な主コイルは、温度がほぼ10ケルビンで、幅がほぼ0.12インチ、厚さがほぼ0.01インチのほぼ79000フィートのNb-Sn超伝導テープから成っていて、上記第1の主電流のアンペア数がほぼ6.5アンペアであり、これにより上記磁石は、上記平面と上記第1の軸との交点にほぼ中心点があるほぼ球状のイメージング容積を持ち、その磁界がほぼ0.5テスラで、設計ピーク・ピーク磁界不均一度が3 ppmより小さく、直徑がほぼ1.2インチである請求項9記載の開放形磁気共鳴イメージング磁石。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は一般に、磁気共鳴イメージング(MRI)診断システムの一部として高磁界を発生するために使用される超伝導磁石に関するものであり、更に詳しくは高一様性の磁界を発生する開放形の設計の超伝導磁石に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 超伝導磁石等の磁石を用いるMRIシステムは医用診断のような種々の分野で使用される。公知の超伝導磁石には、液体ヘリウムで冷却される超伝導磁石および低温冷却器で冷却される超伝導磁石が含まれる。通常、低温冷却器で冷却される磁石の場合、超伝導コイル組立体には、超伝導主コイルが含まれている。超伝導主コイルは熱遮蔽体によって取り囲まれ、熱遮蔽体は真空エンクロージャによって取り囲まれる。低温冷却器のコールドヘッドは外部で真空エンクロージャに取り付けられ、コールドヘッドの第1段は熱遮蔽体と熱的に接触し、第2段は超伝導主コイルと熱的に接触している。Ni-Ti超伝導コイルは通常、ほぼ4ケルビンの温度で動作し、またNi-Sn超伝導コイルは通常、ほぼ10ケルビンの温度で動作する。

【0003】 公知の超伝導磁石の設計には、閉鎖形磁石および開放形磁石が含まれる。閉鎖形磁石は通常、内腔(bore)を設けた単一の管状の超伝導コイル組立体を有する。超伝導コイル組立体は、半径方向に整列され

10

20

30

40

且つ縦方向に間隔を置いて配置された数個の超伝導主コイルを含み、その各々は同一方向に等しい大電流を通す。したがって、超伝導主コイルは、イメージングの対象となる被検体が配置される磁石の内腔の中心にある球形のイメージング容積内に高一様性の磁界を作るよう設計される。磁石はこのようにイメージング容積内に非常に一様な磁界を形成するように設計されるが、磁石の製造許容差、および磁石の現場の環境によって生じる磁界の乱れにより、通常、現場で磁界のこのような僅かのむらについて磁石の補正を行わなければならない。通常、銅片を使用することにより、あるいは被体ヘリウムで冷却されるNb-Ti超伝導磁石の場合には多数のNb-Ti超伝導補正コイルを使用することにより、現場で磁石の調整(シミング)が行われる。補正コイルは、超伝導コイル組立体の中で主コイルの半径方向内側に且つ主コイルの近くに配置される。各補正コイルは、主コイルに流れる電流の方向に対して逆の方向のような任意の必要な方向に異なる小さい電流を通す。また、主コイルによって発生されて主コイルを囲む高磁界が磁石近傍の電子装置に悪影響を及ぼさないように、超伝導コイル組立体の中に遮蔽コイルを設けてもよい。このような遮蔽コイルは、主コイルの半径方向外側に配置され、アンペア数が主コイルに流れる電流とほぼ等しく且つ方向が逆方向の電流を通す。

【0004】 開放形磁石では通常、間隔を置いて配置された2つの超伝導コイル組立体が用いられる。組立体相互の間には空間があるので、MRIイメージングの際に医者が手術や他の医用手順のために接近することができる。患者はその空間内あるいはドーナツ形のコイル組立体の内腔に配置してもよい。その開放空間は、閉鎖形磁石設計で生じ得る閉所恐怖感を患者が克服するのを助ける。本願発明の以前には、公知の開放形超伝導磁石は文献にのみ存在した。しかし、文献には、超伝導コイル組立体相互の間に開放空間があることによって磁界が大きく歪んで、イメージング容積内に一様性の低い磁界が生じた場合に、イメージング容積内に非常に一様な磁界が得られるように開放形超伝導磁石をどのように設計するかについては何ら触れられていない。このような磁界の歪は、公知の磁石調整技術を使用して克服できる歪をはるかに超えている。

【0005】 磁石の超伝導コイル組立体相互の間の開放空間によって生じる大きな磁界歪にもかかわらず、イメージング容積内の磁界が非常に一様となるように設計される開放形MRI磁石が必要とされている。

【0006】

【発明の目的】 本発明の目的は、イメージング容積内の磁界が高一様性を持つように設計される開放形超伝導MRI磁石を提供することである。

【0007】

【発明の概要】 本発明の開放形MRI磁石は、ほぼドー

50

(4)

特開平 8- 38453

5

ナツ形の第1のコイルハウジング、ほぼ環状の第1の超伝導主コイルおよびほぼ環状の第1の超伝導バッキング（bucking）コイルを有する第1の超伝導コイル組立体を含む。第1のコイルハウジングは第1の内腔を取り囲み、ほぼ縦方向の第1の軸を持つ。第1の主コイルおよび第1のバッキングコイルは各々ほぼ第1の軸と同軸にそろえられて、第1のコイルハウジングの中に配置されている。第1のバッキングコイルは、第1の主コイルの半径方向内側に且つ第1の主コイルから半径方向に離間して配置される。第1の主コイルは第1の方向に第1の主電流を通し、第1のバッキングコイルは第1の方向とは逆の方向に第1のバッキング電流を通す。本発明の開放形MR I磁石はまた、ほぼドーナツ形の第2のコイルハウジング、ほぼ環状の第2の超伝導主コイルおよびほぼ環状の第2の超伝導バッキングコイルを有する第2の超伝導コイル組立体も含む。第2のコイルハウジングは、第1のコイルハウジングから縦方向に離間して配置されて、第2の内腔を取り囲み、第1の軸とほぼ同軸にそろえられたほぼ縦方向の第2の軸を持つ。第2の主コイルおよび第2のバッキングコイルは各々ほぼ第2の軸と同軸にそろえられて、第2のコイルハウジングの中に配置されている。第2のバッキングコイルは、第2の主コイルの半径方向内側に且つ第2の主コイルから半径方向に離間して配置される。第2の主コイルは第1の方向に第2の主電流を通し、第2のバッキングコイルは逆の方向に第2のバッキング電流を通す。

【0008】好ましい実施の態様では、第1のバッキングコイルは、第1の主コイルの半径方向の厚さの少なくとも2倍にほぼ等しい距離だけ第1の主コイルから半径方向に離間して配置され、すべての電流はアンペア数がほぼ等しく、両超伝導コイル組立体はほぼ鏡像関係に配置される。本発明からいくつかの利益および利点が得られる。本発明の開放形MR I磁石では、イメージング容積内に非常に一様な磁界を作るために（磁石の超伝導コイル組立体相互の間の開放空間によって生じる）主コイルのイメージング容積内の大きな磁界歪を克服するように、磁界の解析によってバッキングコイルを選択することができる。本発明による非常に一様な磁界によって、高品質のMR Iイメージングが可能となる。本発明の開放形磁石の設計によって、患者の閉所恐怖感が解消される。磁界が非常に一様な本発明の開放形磁石の設計によって、高品質のMR Iイメージングの間に、医者は手術等の医用手順のために患者に接近することができる。

【0009】

【詳しい説明】本発明の好適実施例を示す図面を参照して説明する。図面全体を通じて、同じ参照番号は同じ素子を表す。図1および図2は本発明による開放形磁気共鳴イメージング（MR I）磁石10を示す。磁石10は、ほぼドーナツ形の第1のコイルハウジング14を有する第1の超伝導コイル組立体12を含む。第1のコイル

6

ハウジング14は第1の内腔16を取り囲み、ほぼ縦方向の第1の軸18を持つ。磁石10はまた、ほぼドーナツ形の第2のコイルハウジング22を持つ第2の超伝導コイル組立体20も含む。第2のコイルハウジング22は第2の内腔24を取り囲み、ほぼ縦方向の第2の軸26を持つ。第2のコイルハウジング22は構造用ポスト28によって第1のコイルハウジング14から縦方向に離間して配置され、第2の軸26は第1の軸18とほぼ同軸にそろえられる。第1の軸18に対して垂直に伸び、且つ第1のコイルハウジング14と第2のコイルハウジング22との縦方向中間に位置する（図2で破線で示す）平面30を中心にして、第2の超伝導コイル組立体20は第1の超伝導コイル組立体12とほぼ鏡像関係に配置されることが好ましい。

【0010】第1のコイルハウジング14は、第1の軸18の方を向いた第1のほぼ円周状の外側表面32、および第1の円周状の外側表面32から半径方向に離間し且つ上記第1の軸18の方とは反対の外向きの第2のほぼ円周状の外側表面34を持つ。第1のコイルハウジング14はまた、平面30の方を向いた第1のほぼ環状の外側表面36、および第1の環状の外側表面36から縦方向に離間し且つ平面30の方とは反対の外向きの第2のほぼ環状の外側表面38を持つ。

【0011】第1の超伝導コイル組立体12は更に、ほぼ環状の第1の超伝導主コイル40、好ましくはほぼ環状の第1の付加的な超伝導主コイル42、およびほぼ環状の第1の超伝導バッキングコイル44を有する。第1の超伝導コイル40、42、および44は従来の方法でコイル棒（図示しない）に支持される。第1の主コイル40は、第1の軸18とほぼ同軸にそろえられて、第1のコイルハウジング14の中に配置され、第1の方向に第1の主電流を通す。この第1の方向とは、第1の軸18を中心として時計回りまたは反時計回りのいずれか一方の円周方向と定められる。ただし、電流の方向の僅かな縦方向成分は無視される。第1の付加的な主コイル42は、第1の軸18とほぼ同軸にそろえられて、第1の主コイル40から縦方向に離間して第1のコイルハウジング14の中に配置され、第1の方向（すなわち、第1の主コイル40が通す電流の方向）に第1の付加的な主電流を通す。当業者には知られているように、コイルに使用されている超伝導体の臨界電流密度を超えることなく高磁界強度を達成するために、余分の付加的な主コイルが必要とされることがある。

【0012】第1のバッキングコイル44は、第1の軸18とほぼ同軸にそろえられて、第1のコイルハウジング14の中に配置され、第1の方向と逆の方向（すなわち、第1の主コイル40が通す電流の方向とは逆の方向）に第1のバッキング電流を通す。第1のバッキングコイル44は、第1の主コイル40の半径方向内側に且つ第1の主コイル40から半径方向に離間して配置され

(5)

特開平 8-38453

8

る。

【0013】好ましくは、図示のように、第1の主コイル40は、半径方向において第2の円周状の外側表面34の方に配置され、すなわち半径方向において第1の円周状の外側表面32よりも第2の円周状の外側表面34に近い所に配置される。また同様に、第1のパッキングコイル44は、半径方向において第1の円周状の外側表面32の方に配置され、すなわち半径方向において第2の円周状の外側表面34よりも第1の円周状の外側表面32に近い所に配置される。好ましい実施例では、第1の付加的な主コイル42は、第1の主コイル40よりも第1の軸18から小さい半径方向距離の所で、半径方向において第2の円周状の外側表面34の方に配置される。また、平面30から第1の主コイル40までの縦方向距離が、平面30から第1のパッキングコイル44までの縦方向距離にほぼ等しいことが好ましい。

【0014】第1の主コイル40は縦方向において第1の環状の外側表面36の方に、すなわちに第2の環状の外側表面38よりも第1の環状の外側表面36に近いところに配置され、また第1のパッキングコイル44も縦方向において第1の環状の外側表面36の方に、すなわちに第2の環状の外側表面38よりも第1の環状の外側表面36に近いところに配置されることが好ましい。好ましい実施例では、第1の付加的な主コイル42は縦方向において第2の環状の外側表面38の方に、すなわちに第1の環状の外側表面36よりも第2の環状の外側表面38に近いところに配置される。

【0015】第1の主コイル40の第1の主電流、第1の付加的な主コイル42の電流、および第1のパッキングコイル44の第1のパッキング電流は、アンペア数がほぼ等しいことが好ましい。第1の主コイル40は通常、超伝導線または超伝導テープの対応する寸法よりもかに大きい縦方向の寸法および半径方向の寸法(すなわち半径方向の厚さ)を持つように、超伝導線または超伝導テープを巻いたものから成る。第1のパッキングコイル44は、第1の主コイル40の半径方向の厚さの少なくとも2倍にほぼ等しい距離だけ第1の主コイル40から半径方向に離間して配置されることが好ましい。好ましい実施例では、第1の主コイル40は、第1のパッキングコイル44より大きい縦方向寸法を持ち、第1のパッキングコイル44全体と縦方向にオーバーラップするように配置される。

【0016】前に説明し、図に示したように、平面30を中心にして第2の超伝導コイル組立体20はほぼ第1の超伝導コイル組立体12と鏡像関係にある。したがって、第2の超伝導コイル組立体20は、第2のコイルハウジング22の他に、ほぼ環状の第2の超伝導主コイル46、好ましくはほぼ環状の第2の付加的な超伝導主コイル48、およびほぼ環状の第2の超伝導パッキングコイル50を有する。第2の超伝導コイル46、48およ

10

20

30

40

50

び50は従来の方法でコイル棒(図示しない)に支持される。

【0017】第2の主コイル46は、第2の軸26とはほぼ同軸にそろえられて、第2のコイルハウジング22の中に配置され、第1の方向に(すなわち、第1の主コイル40の電流と同じ方向に)第2の主電流を通す。第2の付加的な主コイル48は、第2の軸26とほぼ同軸にそろえられて、第2の主コイル46から縦方向に離間して第2のコイルハウジング22の中に配置され、第1の方向に第2の付加的な主電流を通す。当業者には理解できるように、第1の超伝導コイル組立体12の余分の付加的な主コイルとの釣り合いをとるために、第2の超伝導コイル組立体20が余分の付加的な主コイルを必要とすることがある。開放形MR1磁石10は超伝導コイル組立体12および20有し、それらには、直徑がほぼ7インチの球形のイメージング容積に少なくとも等しい大きさを持つイメージング容積内に少なくとも0.3テスラの磁界強度を生じるように、主コイル40および46が単独で或いは1つ以上の付加的な主コイル42および48と組み合わせて含まれる。

【0018】第2のパッキングコイル50は、第2の軸26とほぼ同軸にそろえられて、第2のコイルハウジング22の中に配置され、第1の方向とは逆の方向に(すなわち、第1の主コイル40が通す電流の方向とは逆の方向に)第2のパッキング電流を通す。第2のパッキングコイル50は、第2の主コイル46の半径方向内側に且つ第2の主コイル46から半径方向に離間して配置される。磁石10の超伝導コイル組立体12および20には、イメージング容積内の設計ピーク・ピーク磁界不均一度がほぼ25pTより小さくなるように、パッキングコイル44および50が単独で或いは付加的なパッキングコイル(図示しない)と組み合わせて含まれる。

【0019】本発明者は、すべての超伝導コイルをそれらの臨界温度より低い温度に冷却して超伝導を達成して維持するための従来の低温冷却器すなわちギフォード・マクマホン(Gifford-McMahon)低温冷却器を使用して、鏡像関係に設けた第1および第2の超伝導コイル組立体12および20を有する本発明による開放形MR1磁石10を組み立てた。したがって、第1および第2のコイルハウジング14および22は第1および第2の真空エンクロージャとなるように作られ、図2に示されるように対応する超伝導コイル組立体12および20の超伝導コイルと真空エンクロージャとの間に従来の第1または第2の熱遮蔽体52または54が挿入された。コイルハウジング14、22および中空の構造用ボスト28が单一の真空構造を形成した。従来の熱遮蔽体(図示しない)を使用して、熱遮蔽体の中に超伝導コイルを支持し、真空エンクロージャの中に熱遮蔽体を支持した。低温冷却器のコールドヘッド56を第2のコイルハウジング22に取り付け、コールドヘッドの第1段

5 8を第2の熱遮蔽体5 4に熱接続した。コールドヘッドの第2段6 0を、第2の主コイル4 6、第2の付加的な主コイル4 8および第2のパッキングコイル5 0に熱接続した（このような熱接続は簡単化のため図示していない）。第2の超伝導コイル組立体2 0の超伝導コイル4 6、4 8および5 0を第1の超伝導コイル組立体1 2の超伝導コイル4 0、4 2および4 4に熱接続し、中空の構造用ポスト2 8の中の熱コネクタによって第2の熱遮蔽体5 4を第1の熱遮蔽体5 2に熱接続した（このような熱接続は簡単化のため図示していない）。磁石1 0を從来の磁石床取付台6 2の上に支持した。

【0020】組み立てられた磁石1 0は、平面3 0と第1の軸1 8との交点にほぼ中心点があるほぼ球状のイメージング容積6 4（図2に点線で示してある）を持ち、その磁界がほぼ0. 5テスラで、設計ピーク・ピーク磁界不均一度が3 ppmより小さく、直径がほぼ1 2インチになるように本発明者により設計された。このような設計は、当業者に知られている從来の磁界解析と共に、本明細書で前に開示した本発明の原理を使用して本発明者が行った。

【0021】本発明者が組み立てた開放形MR I磁石1 0では、第1のコイルハウジング1 4（すなわち、第1の真空エンクロージャ）は平面3 0から縦方向にほぼ1 1インチのところに配置され、その内側半径がほぼ1 9インチ（これは第1の内腔1 6の半径）、外側半径がほぼ3 6. 5インチ、縦方向の厚さがほぼ1 8インチであった。第1の主コイル4 0は縦方向にほぼ6インチ伸び、半径方向にほぼ1. 5インチ伸び、縦方向に平面3 0からほぼ1 2. 6インチのところに配置され、半径方向に第1の軸1 8からほぼ3 2. 5インチのところに配置された。第1の主コイル4 0は、温度がほぼ1 0ケルビンで、幅がほぼ0. 12インチ、厚さがほぼ0. 01インチのほぼ8 3 0 0 0フィートのNb-Sn超伝導テープより成り、第1の主電流のアンペア数はほぼ6 5アンペアであった。第1のパッキングコイル4 4は縦方向にほぼ2インチ伸び、半径方向にほぼ1インチ伸び、縦方向に平面3 0からほぼ1 9インチのところに配置され、半径方向に第1の軸1 8からほぼ2 1インチのところに配置された。第1のパッキングコイル4 4は、温度がほぼ1 0ケルビンで、幅がほぼ0. 12インチ、厚さがほぼ0. 01インチのほぼ1 1 0 0 0フィートのNb-Sn超伝導テープより成り、第1のパッキング電流のアンペア数はほぼ6 5アンペアであった。第1の付加的な主コイル4 2は縦方向にほぼ7インチ伸び、半径方向にほぼ1. 2インチ伸び、縦方向に平面3 0からほぼ1 9. 2インチのところに配置され、半径方向に第1の軸1 8からほぼ3 1. 8インチのところに配置された。第1の付加的な主コイル4 2は、温度がほぼ1 0ケルビンで、幅がほぼ0. 12インチ、厚さがほぼ0. 01インチのほぼ7 9 0 0 0フィートのNb-Sn超伝導テープ

より成り、第1の主電流のアンペア数はほぼ6 5アンペアであった。したがって、このような磁石1 0は、平面3 0と第1の軸1 8との交点にほぼ中心点があるほぼ球状のイメージング容積6 4を持ち、その磁界がほぼ0. 5テスラで、設計ピーク・ピーク磁界不均一度が3 ppmより小さく、直径がほぼ1 2インチであるように設計された。製造許容差および磁界の現場での乱れのため、不均一度の測定値は1 0 0 0 ppmであった（これは良好なシミングされないレベルと考えられる）。当業者に知られている從来の鉄シムを使用して、本発明者はこれを1 0 ppm（これは高品質のMR Iイメージングのための優れたレベルと考えられる）に下げた。パッキングコイル4 4および5 0が無ければ、開放形磁石1 0の設計ピーク・ピーク磁界不均一度は1 0 0 0 ppmより大きくなる。これはシミングによって小さくすることはできない。というのは、磁石は磁界不均一度をその設計レベルより下げるようシミングすることはずがないからである。

【0022】磁石の開放空間6 6によって生じる大きな磁界の歪を克服するために主コイル（および付加的な主コイル）の磁界を成形するパッキングコイルを使用することにより、高品質のイメージングを維持しつつ患者の快適さと医師の接近を向上する開放形MR I磁石の設計が、本発明の磁石1 0により提供される。開放形MR I磁石の中の高強度の磁界を非常に一様な磁界とすることができるということを初めて発見したのは、本発明者であった。

【0023】本発明の好ましい実施例についての上記の説明は、例示のためのものであり、本発明を網羅したものではなく、また開示された細部に本発明を限定するものでもない。上記の教示を参考にして多数の変形および変更を行えることは明らかである。たとえば、本発明の磁石1 0の超伝導コイル組立体1 2および2 0は低温冷却器による冷却に限定されず、液体ヘリウム（または他の冷凍剤）により冷却してもよい。本発明の範囲は、特許請求の範囲により規定される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の開放形MR I磁石の斜視図である。

【図2】低温冷却器のコールドヘッドおよび磁石の床取付台に取り付けられた図1のMR I磁石の概略側断面図である。

【符号の説明】

- 1 0 開放形MR I磁石
- 1 2 第1の超伝導コイル組立体
- 1 4 第1のコイルハウジング
- 1 6 第1の内腔
- 1 8 第1の軸
- 2 0 第2の超伝導コイル組立体
- 2 2 第2のコイルハウジング
- 2 4 第2の内腔

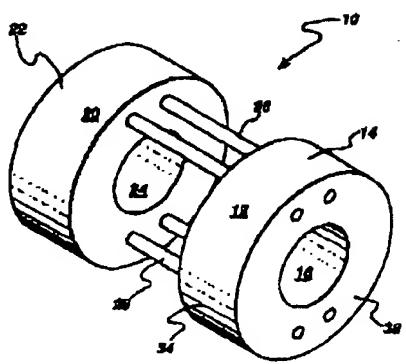
(7)

特開平 8- 38453

11

- 2 6 第2の軸
- 2 8 構造用ポスト
- 3 0 平面
- 3 2 第1の円周状の外側表面
- 3 4 第2の円周状の外側表面
- 3 6 第1の環状の外側表面
- 3 8 第2の環状の外側表面

【図1】



12

- 4 0 第1の超伝導主コイル
- 4 2 第1の付加的な超伝導主コイル
- 4 4 第1の超伝導バッキングコイル
- 4 6 第2の超伝導主コイル
- 4 8 第2の付加的な超伝導主コイル
- 5 0 第2の超伝導バッキングコイル
- 6 4 イメージング容積

【図2】

